



陈 坚 编 著

应用电工技术

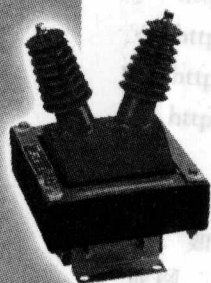
福建科学技术出版社
FUJIAN SCIENCE & TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE



应用电工技术

YINGYONG DIANGONG JISHU

陈 坚 编 著



福建科学技术出版社

FUJIAN SCIENCE & TECHNOLOGY PUBLISHING HOUSE

1—4 000 页

ISBN 958-7-8332-3110-3

23.00 元

直下，跟同量数等中并

图书在版编目 (CIP) 数据

应用电工技术/陈坚编著. —福州: 福建科学技术出版社, 2008. 4

ISBN 978-7-5335-3110-2

I. 实… II. 陈… III. 电工技术 IV. TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 184681 号

应用电工技术

YINGYONG DIANGONG JISHU

陈坚 著

书 名	应用电工技术
编 著	陈 坚
出版发行	福建科学技术出版社 (福州市东水路 76 号, 邮编 350001)
网 址	www.fjstp.com
经 销	各地新华书店
排 版	福建科学技术出版社排版室
印 刷	福州华悦印务有限公司
开 本	787 毫米×1092 毫米 1/16
印 张	15.5
字 数	394 千字
版 次	2008 年 4 月第 1 版
印 次	2008 年 4 月第 1 次印刷
印 数	1—4 000
书 号	ISBN 978-7-5335-3110-2
定 价	23.00 元

书中如有印装质量问题, 可直接向本社调换

前 言

这是一本面向广大工程技术人员的应用电工技术书籍，也可供有关院校作为电工应用或实践类课程的教材，或作为教学参考书。

电是现代技术的基础，工程技术人员在工作中常常需要查询和他所从事的工作相配套的一些技术资料。例如，为化工或采矿机械配置合适的电机，技术人员需要知道电机的类型、规格、性能；为工厂的配电设备扩容，需要知道高、低压电器的资料；添置一些仪器仪表，需要知道如何根据要求来选型，等等。

工程技术人员一般都学过《电工学》等课程，有基本的理论基础，但教材未包含电气产品具体类型、应用等内容，读者在工作中遇到具体实际问题还是要去寻找相关的技术资料来解决。本书为上述需求而编写，书中有许多常用的技术资料和方法，可为各种工程实践中遇到的电工技术问题提供解决方案，或作为参照方法。

本书可供电气工程技术人员或在工作中涉电的其他专业技术人员作为一本电工应用手册类工具书来使用，也可供广大电工在工作中解决实际问题之需。

本书共分为八章，分别介绍了安全用电，基本电工材料，常用电工仪表仪器，各种电动机与变频技术、小型发电机组和变压器，各种低压电器，简述了企业供电系统，第七章介绍了电子方面的器件知识和基本手工操作，并介绍了近来发展十分迅速的电力电子技术，最后一章介绍了电气控制的基本方法和排除现场故障的方法、经验。在附录中还给出了一些实用的资料，如网络检索资源等。

李春玉、杨良弟、林青、郑萌婷为本书提供部分资料和图片。书中引用了一些资料，在此对原资料作者，以及关心本书编写、出版，提供建议和帮助的单位和个人一并表示衷心感谢！

由于作者水平所限，书中难免有错误、不当和疏漏之处，敬请读者予以批评指正。

作 者

2007.11

目 录

第一章 安全用电	
第一节 安全用电常识	(1)
一、意外触电的危害	(1)
二、人体电阻与安全电压	(2)
三、防止触电和触电的急救	(3)
四、工作中的安全规程与规范	(6)
五、电气设备防火灭火	(7)
第二节 保护、接地与接零	(7)
一、熔断器保护与继电保护	(7)
二、过电压与防雷保护	(10)
三、接地、接零保护	(12)
第二章 电工材料	
第一节 导电材料	(16)
一、漆包线	(16)
二、电线电缆	(20)
三、电阻和电热材料	(22)
四、电刷	(24)
第二节 绝缘材料	(24)
一、分类、型号和性能	(24)
二、绝缘纸、布、套管	(27)
三、绝缘漆	(29)
四、绝缘子	(31)
五、绝缘处理工艺	(32)
第三节 磁性材料	(34)
一、软磁材料	(34)
二、硅钢片	(35)
三、永磁体(硬磁材料)	(37)
第四节 其他材料	(38)
一、滚动轴承	(38)
二、润滑脂	(40)
第三章 仪器、测量及电工工具	
第一节 电工仪表仪器	(41)
一、仪表精度与测量精度	(41)
二、台表、板表、集成式仪器仪表	(42)
三、指针式与数字式万用表	(42)
四、电压表、电流表、功率表、兆欧表	(48)
五、示波器	(53)
六、稳定电源	(58)
第二节 测量	(60)
一、各种电量的测量方法	(60)
二、测量的误差及其分析与处理	(62)
第三节 电工工具	(64)
一、常用电工工具	(64)
二、电动工具	(67)
第四章 电机	
第一节 电机分类、型号和产品体系	(68)
一、电机的类型和用途	(68)
二、电机的防护、安装尺寸和通风冷却	(70)
三、电机铭牌数据、标志及绝缘等级	(73)
四、电机产品体系和型号	(75)
五、电机的运行与维护	(76)
六、电器绝缘安全	(77)
第二节 交流电动机和专用电机	(79)
一、三相异步电动机	(79)
二、电机技术参数表解说	(87)
三、单相异步电动机	(87)
四、变极调速电机	(91)
五、变频器用于调速	(93)
六、专用或特种电机系列	(95)
七、电机的故障检查、判断与维修	(100)
第三节 直流电机和交流串激电动机	(103)
一、直流电机	(103)
二、交流串激电动机	(106)
三、换向器和电刷问题	(107)
第四节 小型发电机组	(108)
一、机组结构	(108)
二、机组型式及功能	(109)
三、同步发电机与励磁系统	(109)
四、发电机组的使用	(110)
五、发电机组的保养与维修	(113)
第五节 电动机的选用	(114)
一、选择电动机类型	(114)

二、根据应用环境选择电动机	(115)	第二节 供配电系统的主要电气设备	(172)
三、根据负载性质选择电动机	(116)	一、高压开关	(172)
四、电动机容量的选择	(119)	二、互感器	(176)
五、电压与频率的选择	(120)	第三节 变配电所的配置	(180)
六、电动机转速的选择	(120)	一、高压成套配电装置	(180)
七、电动机外部结构形式的选择	(121)	二、低压配电屏	(181)
第六节 变压器	(121)	第四节 电气设备的选用	(181)
一、变压器结构与型号	(122)	一、选择原则	(181)
二、技术指标	(124)	二、开关电器选择	(182)
三、绕组连接与并联运行	(125)	三、高压熔断器选择	(184)
第五章 低压电器		第五节 节能与功率因数补偿	(185)
第一节 常用低压开关电器概述	(126)	一、用电节能措施	(185)
一、电器分类与型号	(126)	二、无功功率补偿	(186)
二、电弧与灭弧	(129)	第七章 电工电子	
三、电器新技术	(130)	第一节 电子元器件与测试	(187)
第二节 接触器	(130)	一、电阻器	(187)
一、接触器概述	(130)	二、电容器	(191)
二、接触器的负载类别	(131)	三、电感器	(196)
三、接触器的主要技术参数	(132)	四、二极管与三极管	(199)
四、直流和交流接触器	(132)	五、集成电路	(203)
五、接触器的选用和维护	(136)	第二节 电子元件的手工焊接及电路板制作	(205)
第三节 继电器	(139)	一、焊接与焊料、焊剂	(205)
一、继电器概述	(139)	二、手工施焊过程	(206)
二、通用、中间和时间继电器	(140)	三、电路板	(207)
三、热继电器和温度继电器	(144)	第三节 电力电子技术	(208)
四、各类专用继电器	(146)	一、电力电子技术的发展与应用	(208)
第四节 刀开关、熔断器和自动开关	(148)	二、电力电子器件	(209)
一、刀开关和隔离器	(148)	三、常用电力电子基本电路	(211)
二、组合开关	(150)	四、电力电子装置的应用	(213)
三、熔断器	(152)	五、功率因数校正技术 (PFC)	(214)
四、断路器 (自动开关)	(156)	第四节 开关电源	(216)
第五节 其他电器及应用	(161)	一、概况	(216)
一、按钮开关 (主令电器)	(161)	二、发展	(216)
二、电磁离合器	(163)	第八章 电气控制与故障诊断方法	
三、漏电保护器	(164)	第一节 电气控制单元与线路设计	(218)
第六章 供配电		一、电气控制单元	(218)
第一节 供配电系统	(169)	二、控制线路设计	(220)
一、供配电系统与线路	(169)	第二节 常用电气控制线路	(220)
二、电能质量与额定电压	(169)	一、三相异步电动机的正、反转控制	(220)

二、单相异步电动机的间接正、反转控制	(221)	三、延边三角形起动器	(230)
三、用行程开关控制	(222)	四、起动方式和起动器的选择	(231)
四、多台设备开停车的顺序和反序控制	(222)	五、起动器的常见故障及其排除	(233)
五、星-三角 (Y- Δ) 起动控制	(223)	六、电动机的热保护和断相保护	(233)
六、单按钮控制电机开停	(224)	第五节 工程实际问题的诊断与分析方法	(234)
七、电路的简化、优化和方案比较	(224)	一、感官诊断与问题的定向归类	(234)
第三节 可编程控制器与单片机	(226)	二、检验灯的使用	(235)
一、可编程控制器	(226)	三、故障的几种检测方法	(236)
二、单片机	(228)	四、故障处理整体思路	(236)
第四节 起动器和保护电器	(228)	附录	
一、电磁起动器	(229)	一、我国国家标准代号	(239)
二、Y- Δ 起动器	(230)	二、互联网信息源	(239)
		参考文献	(240)

第一章 安全用电

第一节 安全用电常识

一、意外触电的危害

1. 触电形式

(1) 单相触电。人触及一相带电体时，电流通过人体流入大地或中性线，称为单相触电。当人体与高压带电体的距离小于规定的安全距离时，高压带电体将对人体放电造成触电事故，也称为单相触电。一般情况下，中性点直接接地电网的单相触电比中性点不直接接地电网的危险性要大得多。

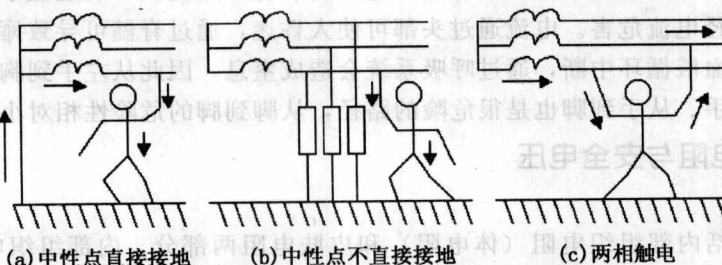


图 1-1-1 触电形式

(2) 两相触电。两相触电指人体同时触及同一电源的两相带电体，以及在高压系统中，人体与高压带电体的距离小于规定的安全距离时造成电弧放电，电流从一相导体通过人体流入另一相导体的触电方式。两相触电时，加在人体上的电压为线电压，因此不论电网的中性点接地与否，触电造成的危险都最大。

(3) 接触电压触电。由于绝缘损坏或其他原因造成电气设备接地短路故障时，接地电流会以接地故障点为中心，在地面约 20m 半径范围内形成分布电位。当人体触及漏电设备外壳时，电流通过人体和大地形成回路，造成触电事故，称为接触电压触电。

(4) 跨步电压触电。带电体接地时有电流向大地流散，在以接地点为中心，半径约 20 米的范围内形成分布电位。人站在这个范围内，两脚间的电位差称为跨步电压，由此引起的触电称为跨步电压触电。

(5) 感应电压触电。一些不带电的线路，由于雷电活动等大气变化可能产生感应电荷；一些停电后可能感应电压的设备和线路，由于未接临时地线可能对地存在感应电压。当人体触及这样的设备和线路时造成的触电事故称为感应电压触电。这种触电和下述的剩余电荷触电一样属于静电荷导致的触电。

(6) 剩余电荷触电。它是指由于电容器、电力电缆、电力变压器及大容量电动机等设备在检修前后没有对其充分放电，当人触及这些设备时，剩余电荷对人体放电所造成的触电事故。

2. 电流对人体的危害

(1) 电流大小对人体的影响。电流愈大，人体的反应就愈强烈，引起心室颤动周期愈短，就愈可能致命。按照通过人体电流大小和人体呈现的不同状态，可以大致地把工频交流

电分为 3 种：

①感觉电流。感觉电流是指能引起人感觉的最小电流，成年男性的平均感觉电流约为 1.1mA，成年女性约为 0.7 mA。感觉电流一般不会对人体造成伤害，但骤然间触电引起的突然猛烈反应可能造成坠落等间接事故。

②摆脱电流。摆脱电流指人体触电后能自主摆脱电源的最大电流，成年男性的平均摆脱电流约为 16mA，成年女性约为 10mA，儿童的摆脱电流比成人小。触及摆脱电流也会造成上述的间接事故。

③致命电流。致命电流指在短时间内危及生命的最小电流，当通过人体的电流达到 30～50mA 时，中枢神经就会受到伤害，使人感觉麻痹，呼吸困难。如果通过人体的工频电流超过 100mA，在极短的时间内人就会失去知觉而导致死亡。

在摆脱电流范围内，人被电击后一般都能自主摆脱带电体，因此通常把摆脱电流看作人体允许电流。当线路及设备装有防止触电的速断保护装置时，人体允许电流可按 30mA 考虑，在高空、水中等可能因电击导致摔死、淹死的场合，则应按不引起痉挛的 5mA 考虑。

(2) 不同路径电流危害。电流通过头部可使人昏迷，通过脊髓可导致瘫痪，通过心脏将造成心跳停止、血液循环中断，通过呼吸系统会造成窒息。因此从左手到胸部是最危险的电流路径，从手到手、从手到脚也是很危险的路径，从脚到脚的危险性相对小一些。

二、人体电阻与安全电压

1. 人体电阻

人体电阻包括内部组织电阻（体电阻）和皮肤电阻两部分。内部组织电阻是固定不变的，一般为 500Ω 左右。皮肤电阻主要由角质层决定，角质层越厚电阻就越大。人体总电阻一般为 1500～2000Ω 左右（为保险起见，通常取为 800～1000Ω）。

2. 电压影响与安全电压

电压和电流都是电量的表示形式，但从安全的角度看，确定对人体的安全条件通常不采用安全电流而采用安全电压，因为影响电流变化的因素很多，而电力系统的电压是比较恒定的。人们印象中安全电压就是 36V，实际上和环境等具体条件还有关系，我国 GB3805-1983 标准规定：对频率为 50～500Hz 的交流电，安全电压额定值分为 42、36、24、12、6V 5 级。

人若接近高压电，接近到一定距离就会产生感应放电，这是很危险的，电压对人体的影响及允许接近的最小安全距离见表 1-1-1。

表 1-1-1 电压对人体的影响及接近高压带电体的最小安全距离

接触时的情况		允许接近的最小安全距离	
电压 (V)	对人体的影响	电压 (kV)	设备有电时的安全距离 (m)
10	全身在水中时跨步电压界限为 10V/m	10 及以下	0.7
20	湿手的安全界限	20～35	1.0
30	手在干燥状态下的安全界限	44	1.2
50	对人生命可能产生危险	60～100	1.5
100～200	有生命危险	154	2.0
200 以上	危险性急剧增大	220	3.0
1000	被带电体所吸引	330	4.0
1000 以上	或有被弹开而脱险的可能	500	5.0

三、防止触电和触电的急救

(一) 防止触电的措施

触电十分危险，首先是要采取一系列措施预防触电的发生。

1. 日常工作中的安全措施

(1) 保证电气设备具有良好的绝缘性能。加强电气设备的日常维护，经常用兆欧表等检查其绝缘的完好程度，尤其要注意负荷较重、平时手感比较“烫”的设备。绝缘材料的理论工作寿命大约是 20 年，如果平时的工作温度经常超过额定值，则绝缘材料的实际工作寿命将会大大下降，所以对于老设备和重载工作的设备要加强监测，防患于未然。

(2) 采用电气安全用具。电气安全用具分为基本安全用具和辅助安全用具，其作用是把人与大地或设备外壳隔离开。基本安全用具是操作人员操作带电设备时必需的用具，其绝缘部分必须足以承受电气设备的工作电压。辅助安全用具的绝缘部分不足以承受电气设备的工作电压，但操作人员使用它可使人身安全有进一步的保障，如绝缘手套、绝缘靴、绝缘垫、绝缘站台、验电器、临时接地线及警告牌等。

(3) 尽可能采用安全电压。凡手提式照明灯、机床工作台局部照明灯、高度不超过 2.5m 的照明灯，都要采用 36V 安全电压；某些继电器保护回路、指示灯回路和控制回路也采用安全电压。在潮湿、易导电的地沟或金属容器内工作时，行灯采用 12V 电压。安全电压的电源必须采用双绕组的隔离变压器，隔离变压器的一、二次绕组必须加装短路保护装置，并有明显标志。严禁用自耦变压器提供低电压。

(4) 安装自动断电装置：对电气设备除了传统的接地、接零保护外，还可装设具有自动断电功能的保护装置，自动断电装置有漏电保护、过压或欠压保护、过流保护、短路保护等功能。当带电线路、设备发生故障或触电事故发生时，自动断电装置能在规定时间内自动切除电源，起到保护人身和设备安全的作用。

(5) 设立屏护装置。为了防止人体直接接触带电体，常采用一些屏护装置如遮栏、护罩、护套和栅栏等将带电体与外界隔开。屏护装置必须有足够的机械强度和良好的耐热、耐火性能，若使用金属材料做屏护装置，应妥善接地或接零。

(6) 保证人或物与带电体的安全距离。为防止人或车辆等移动设备触及或过于接近带电体，在带电体与地面之间、带电体与带电体之间、带电体与其他设备之间应保持一定的安全距离。距离大小取决于电压的高低、设备类型及安装方式等。

(7) 定期检查用电设备。对用电设备定期进行耐压等试验。对有故障的电气线路、电气设备要及时检修，确保安全运行。

2. 停电检修时的安全措施

(1) 切断电源。按照停电操作顺序进行，各方面的电源都要断开，注意保证各电源有一个明显的断点，对多回路的线路要特别留心，防止从低压侧反送电。

(2) 验电。停电检修的设备或线路必须经验明证实其无电后，才能确认无电，否则应视为有电。验电时，应选用电压等级相符，经试验合格并在试验有效期内的验电器对检修设备的进出线两侧各相分别验电，确认无电后才可以进行工作。

(3) 装设临时地线。对于可能受电的检修设备或线路，以及可能产生感应电压的地方，都要装设临时地线。临时接地线应使用截面积不小于 2.5mm^2 的多股软裸铜绞线，装设时应先将其接到接地体，在验明电气设备或线路无电时，立即再将其接到被检修的设备或线路上，拆除时的顺序则与之相反。操作人员应戴绝缘手套，穿绝缘鞋，人体不能触及临时接地线，并有人监护。严禁使用不符合规定的导线作接地和短路之用。

(4) 悬挂警告牌。停电工作时,对一经合闸即能送电到检修设备或线路的开关和隔离开关的操作手柄上,要悬挂“有人工作,禁止合闸”的警告牌,必要时派专人监护或加锁固定。

3. 带电检修时的安全措施

检修带电线路时,应分清地线和相线。断开导线时,应先断开相线后断开地线,搭接导线时先接地线后接相线。接相线时应将两个线头搭实后再行缠接。切不可使人体或手指同时接触两根线。

在低压电气设备或线路上进行带电工作时,应使用合格的、有绝缘手柄的工具,穿绝缘鞋、戴绝缘手套,并站在干燥的绝缘物体上,同时派专人监护。

对工作中可能碰触到的其他带电体及接地物体,应使用绝缘物将其隔开,以防止相间短路和接地短路。

对高、低压线同杆架设的,检修人员离高压线的距离要符合安全距离。

(二) 触电急救方法

1. 脱离电源

若是碰到电器触电,应立即断开最近处与之相联的开关,如拔掉插头,拨下开关或打开保险盒。

若碰到破损电线而触电,附近一时找不到开关,可用干燥的木棒、竹竿、手杖等绝缘物把电线挑开,并妥善放置,防止再次发生事故。

在抢救过程中,抢救者要注意自身的安全,切忌连带触电,抢救者脚下应有干燥的绝缘物,不要用手去拉触电者。

若触电者在高处,要防止脱离电源后跌伤而造成二次伤害。

2. 脱离电源后的判断

(1) 判断触电者有无知觉。若因触电引起呼吸停止及心室颤动、停搏,要迅速进行现场抢救。若延误时机,五分钟大脑将发生不可逆的损害,过十分钟就会导致脑死亡。因此必须迅速判断触电者有无知觉,以确定是否需要现场抢救,可通过摇动触电者肩部,呼叫其名字等方法检查其有无反应,若没有反应,可能呼吸、心搏停止,必须抓紧进行抢救。

(2) 判断触电者呼吸是否停止。将触电者移至干燥、宽敞、通风的地方,使其仰卧,放松衣裤,观察胸部或腹部有无因呼吸而产生的起伏,若不明显,可用手或小纸条放在触电者的鼻孔处,看有无气息,或直接用手放在触电者胸部感觉有无呼吸动作。

(3) 判断脉搏存在与否。用手检查颈动脉、手腕处或腹股沟处股动脉,看有无脉动。另外还可用耳朵贴在触电者胸部心脏附近,倾听有无心脏跳动的声音。

(4) 检查瞳孔是否放大。如果大脑机能正常,瞳孔大小随外界光线的强弱而自动调节。濒临死亡或已死亡的人,瞳孔放大,且由于大脑中枢失去对瞳孔的调节功能,对外界的光线强弱不再做出反应。

3. 触电后的抢救

(1) 口对口人工呼吸法

①使触电者仰卧,不垫枕头,将头侧向一边清除其口腔内的血块、假牙及其他异物,如图 1-1-2(a) 所示。若舌根下陷还应将舌根拉出。若触电者牙关紧闭,救护人员应以双手托住其下巴后角,将大拇指放在下巴边缘,用手持下巴骨慢慢向前推移,使下牙移到上牙之前;也可用开口钳、小木片、金属片等,小心地从口角处伸入牙缝撬开牙齿,清除口腔异物,然后将其头部扳正,使之尽量后仰,口鼻朝天,使呼吸道畅通,如图 1-1-2(b) 所示。

②迅速松开触电者的衣服、裤带，松开上身的围巾、护胸罩等，使其胸部能自由扩张，不妨碍呼吸。

③救护人员位于触电者头部的左边或右边，用一只手捏紧其鼻孔，不使漏气，另一只手将其下巴拉向正前方，使其嘴巴张开（嘴上可盖上一层纱布），救护人员做深呼吸后，紧贴触电者的嘴巴大口吹气，如图 1-1-2(c) 所示，同时观察触电者胸部，一般应略有起伏。

④救护人员吹气至需换气时，应立即离开触电者的嘴巴，并放松触电者的鼻子，让其自由排气。注意观察触电者胸部的复原情况，并倾听口鼻处有无呼吸声，检查其呼吸是否被阻塞，如图 1-1-2 (d) 所示。按上述方法对触电者反复吹气、换气，成人每分钟 14~16 次，大约 5s 一个循环，吹气 2s，呼气 3s；对儿童吹气，每分钟 10~18 次。



图 1-1-2 口对口人工呼吸法

(2) 人工胸外挤压心脏法

①松开触电者衣裤，清除口腔内异物，使其胸部能自由扩张。

②使触电者仰卧，背部应处于牢固支撑。

③救护人员位于触电者一边，跨跪在触电者的腰部，将一只手的掌根放在心窝稍高一点的地方（掌根放在胸骨的下三分之一部位），中指指尖对准锁骨间凹陷处边缘，另一只手交叠压在上面（儿童用一只手即可），如图 1-1-3 (a)、(b) 所示。

④找到触电者的正确压点，自上而下，垂直均衡地用力挤压，压出心脏里面的血液，注意用力适当，如图 1-1-3 (c)、(d) 所示。

⑤挤压后，掌根迅速放松（手掌不要离开胸部），使触电者胸部自动复原，心脏扩张，血液又回到心脏。

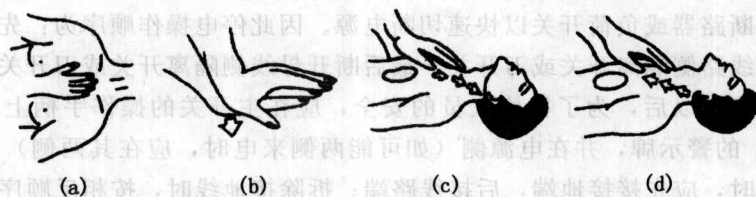


图 1-1-3 心脏挤压法

按上述方法反复对触电者的心脏进行挤压和放松，每分钟约 60 次，挤压时定位要准确，用力要适当。在施行人工呼吸和心脏挤压时，救护人员应密切观察触电者的情况，如果触电者有苏醒征状，如眼皮或嘴唇微动等，应暂停操作几秒钟，让触电者自行恢复呼吸和心跳。

若触电者受到伤害相当严重，心跳和呼吸都已停止，人完全失去知觉，则需同时采用口对口人工呼吸和人工胸外挤压两种方法。如果现场仅有一个人抢救，可先胸外挤压心脏 4~6 次，然后口对口呼吸 2~3 次，再挤压心脏，反复循环进行操作。

在进行触电急救时要同时呼救，请医护人员尽快赶到。施行人工呼吸和心脏挤压必须坚持不懈，直到触电者苏醒或医护人员赶到为止。只有医生才有权宣布触电者死亡。

四、工作中的安全规程与规范

为确保工作中的安全，必须制定各项安全规程与规范，也就是通常所说的规章制度。这些安全规程与规范是长期工作经验和教训的总结，有的还是用血换来的，对于保证安全工作有着指导性的意义和不可替代的作用。

以变配电所的规章制度为例，其内容有电气安全工作规程（包括安全用具管理）、电气运行操作规程（包括停、限电操作程序）、电气事故处理规程、电气设备维护检修制度、岗位责任制度、电气设备巡视检查制度、电气设备缺陷制度、运行交接班制度、安全保卫及消防制度等。以变配电所的送电和停电操作为例说明操作规范。

1. 操作要求

为确保运行安全，防止误操作，按《电业安全工作规程》规定，在 1kV 以上设备进行倒闸操作时，必须根据值班调度员或值班负责人的命令，受令人复诵无误后执行。操作人员应按规定格式填写操作票。单人值班，操作票由发令人通过电话传达给值班员，值班员应根据指令填写操作票，复诵无误，并在“监护人”签名处填入发令人姓名。倒闸操作票格式如下：

倒闸操作票

编号：

操作开始时间： 年 月 日 时 分		操作终了时间： 年 月 日 时 分	
操作任务			
✓	顺序	操 作 项 目	
备注：			

操作人：

监护人：

值班负责人：

值班长：

2. 停电操作

变配电所停电一般应从负荷侧的开关拉起，依次拉到电源侧开关，按此顺序操作可使开关分断电流减至最小，比较安全。若高压主开关是高压断路器或负荷开关，紧急情况下也可以直接拉开高压断路器或负荷开关以快速切断电源。因此停电操作顺序为：先断开高、低压断路器，再断开线路侧隔离开关或刀开关，最后断开母线侧隔离开关或刀开关。

线路或设备停电以后，为了检修人员的安全，应在主开关的操作手柄上悬挂“有人操作，禁止合闸！”的警示牌，并在电源侧（如可能两侧来电时，应在其两侧）安装临时接地线。安装接地线时，应先接接地端，后接线路端；拆除接地线时，按相反顺序进行。

3. 送电操作

变配电所送电一般应从电源侧的开关合起，依次合到负荷侧的各开关，按此顺序操作可使开关的合闸电流减至最小，比较安全。万一某部分存在故障，该部分一合闸就会出现异常情况，故障容易被发现。因此送电时操作顺序为：先合上母线侧隔离开关或刀开关，再合上线路侧隔离开关或刀开关，最后合上高、低压断路器。

如果变配电所所内出线发生故障使开关跳闸时，若开关的断电容量允许，可以试合闸一次，争取尽快恢复供电。多数情况下故障是暂时性的，可试合成功。如果开关再次跳闸，则应对故障线路进行隔离检修。

以上所举的只是规程的部分内容，旨在说明对电气设备或线路的任何操作都应遵循既定的规章制度进行，以保障人身和设备安全。一般有关电气方面的工作都有既定的规章制度。

企业因初创、工作环境或人员变动等原因使企业规章制度不完善甚至没有相关规章制度的，应尽可能搜集到有关规章制度、规程规范，结合本单位具体情况予以完善并严格执行。

五、电气设备防火灭火

若电气设备、线路处于短路、过载、接触不良、散热困难等不正常运行状态时，其发热量增加，温度升高，容易引起火灾。在有爆炸性混合物的场合，电火花、电弧还会引发爆炸。要注意着火的设备可能是带电的，在灭火过程中可能引起触电事故。有些电气设备（如油浸式变压器、油断路器）本身含有大量的油，可能发生喷油甚至爆炸事故，扩大火灾范围。

电气失火后应首先切断电源，以确保在灭火时不发生次生的触电事故。但有时无法立即断电，如总开关无法接近，运行的电梯等设备内还有人，或生产过程不允许断电，为争取时间必须先行灭火等，则必须进行带电灭火。带电灭火应注意以下事项。

(1) 选择适当的灭火器。二氧化碳 (CO_2)、四氯化碳 (CCl_4)、二氟一氯一溴甲烷 (CF_2ClBr ，俗称 1211) 或干粉灭火器的灭火剂均不导电，可用于带电灭火。使用二氧化碳（干冰）灭火器时要打开门窗，离火区 2~3m 喷射，勿使干冰沾着皮肤，以防冻伤。使用四氯化碳灭火器灭火时要防止中毒，也应打开门窗，有条件时最好戴上防毒面具，因为四氯化碳与氧气在高温下会起化学反应，生成有毒的光气 (COCl_2) 和氯气 (Cl_2)。带电灭火不能使用一般的泡沫灭火器，因为其灭火剂（水溶液）具有一定的导电性，而且对电气设备具有腐蚀作用。

(2) 小范围带电灭火，可使用干砂覆盖。

(3) 专业灭火人员用水枪灭火时，宜采用喷雾水枪，这种水枪通过水柱的泄漏电流较小，带电灭火比较安全。用普通直流水枪灭火时，为防止泄漏电流通过人体，可将水枪喷嘴接地，也可让灭火人员穿戴绝缘手套、绝缘靴或穿戴均压服后进行灭火。

第二节 保护、接地与接零

一、熔断器保护与继电保护

(一) 熔断器保护

1. 熔断器在供电系统中的配置

熔断器在供电系统中配置的原则是按满足选择性保护的要求进行，因此对每一条分支电路，都要配置一组熔断器。对于由几条分支电路组成的一个供电线路，如供给一组负荷的配电箱母线，也应配置一组熔断器，只有这样才可能将故障停电的范围降到最低限度。此外也应考虑经济性和运行维护的方便，使供电系统中配置的熔断器数量尽可能地少。

图 1-2-1 是车间放射式供电系统中熔断器的配置方案。图中，若 k_n 点短路，则 FU_n 熔断。只要正确合理地选择熔断器及熔体的容量，就可以实现有选择性的保护，而且从熔断器

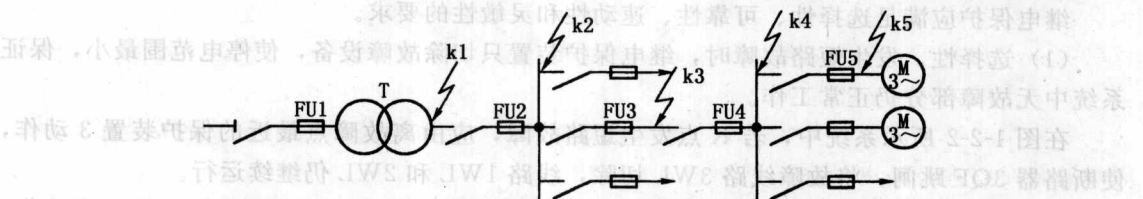


图 1-2-1 熔断器在车间放射式供电系统中的配置方案

FU1 至熔断器 FU5, 前一级又为后一级的后备保护。

2. 熔断器熔体电流的选择

熔断器具有反时限的动作特性, 即短路电流越大动作时限越短。因熔体材料不同, 其保护特性有所差别。对于铅锡、锌、铝类熔体, 通过熔体的电流为额定电流的 1.3~1.4 倍时, 大约 1h 后熔体熔断; 通过电流为额定电流的 1.5~1.6 倍时, 大约 0.5h 后熔体熔断; 通过电流为额定电流的 2.5~3 倍时, 大约 10s 后熔体熔断。对于铜质熔体, 通过熔体的电流为额定电流的 1.6 倍时, 大约 1h 后熔体熔断; 为额定电流的 1.8 倍时, 大约 0.5h 后熔体熔断; 为额定电流的 1.5~3.5 倍时, 大约 10s 后熔体熔断。

由此可见, 使用铜质熔体的快速型熔断器, 其过载能力相对较强, 而铅锡、锌、铝类熔体的过载能力较差。所以在选用铅锡、锌、铝类熔体时, 其熔体额定电流与正常工作电流之比应比选用铜质熔体时大一些。

3. 熔断器之间的选择性配合

当供电电路中有几个熔断器串联时, 应考虑各级熔断器的选择性配合, 即靠近故障点的熔断器最先熔断, 切除故障部分, 使系统中其他部分迅速恢复正常运行。

同一短路(或过负荷)电流通过几个熔断器, 要使其按不同的时间分先后熔断, 唯一方法是选用不同额定电流的熔体。额定电流小的熔体首先熔断后, 故障电流消除, 其他熔体的温度下降而恢复正常, 达到有选择性的保护。

各级熔断器的额定电流之差值究竟应有多大, 才能使选择性得到保证呢? 应通过对前后两级熔断器熔体的保护特性曲线进行校验加以确定。由于熔体熔化时与熔断器触头及熔体本身情况有很大关系, 如触头表面氧化、螺钉拧得不紧、熔体损伤及表面氧化等, 都会缩短熔体的熔断时间。因此熔断器的保护特性相当不稳定, 在保护特性曲线校验时, 还应考虑一个误差范围。

(二) 继电保护

供电系统在运行中, 可能发生各种故障或不正常运行状态, 其中最严重的是发生短路故障, 其严重后果如烧毁电气设备, 导致大面积停电等。因此必须采取各种有效措施消除或减少故障, 一旦发生故障, 应迅速切除故障设备。

1. 继电保护的任务

(1) 自动地、迅速地、有选择性地将故障设备从供配电系统中切除, 使其他非故障部分迅速恢复正常运行。

(2) 正确反映电气设备的不正常运行状态, 发出预告信号, 以便操作人员采取措施, 恢复电气设备的正常运行。

(3) 与供配电系统的自动装置(如自动重合闸装置、备用电源自动投入装置等)配合, 提高供配电系统的供电可靠性。

2. 对继电保护的要求

继电保护应满足选择性、可靠性、速动性和灵敏性的要求。

(1) 选择性。发生短路故障时, 继电保护装置只切除故障设备, 使停电范围最小, 保证系统中无故障部分仍正常工作。

在图 1-2-2 所示系统中, 若 K 点发生短路故障, 应由离故障点最近的保护装置 3 动作, 使断路器 3QF 跳闸, 将故障线路 3WL 切除, 线路 1WL 和 2WL 仍继续运行。

(2) 可靠性。对保护范围内的故障或不正常运行状态, 继电保护装置应准确可靠动作。而对不应动作的故障或不正常运行状态, 不应误动作。如图 1-2-2 系统中若 K 点发生短路,

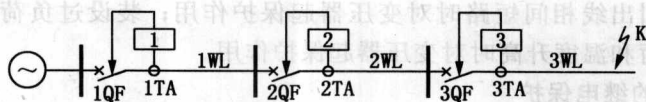


图 1-2-2 继电保护选择性示意图

保护装置 3 不应拒动作，保护装置 1 和保护装置 2 不应误动作。

(3) 速动性。发生故障时，继电保护应当尽快地动作，切除故障，减少故障引起的损失。

(4) 灵敏性。继电保护的灵敏性通常用灵敏度 K_s 来衡量，灵敏度愈高，反映故障的能力愈强。

$K_s = \text{保护范围内的最小短路电流} / \text{保护装置一次侧动作电流}$

3. 继电保护的基本原理

供配电系统发生故障时，会引起电流增大、电压降低、电压和电流间相位角改变等，利用上述物理量与正常值的差别，可构成各种不同工作原理的继电保护装置，如电压保护、电流保护、方向保护、距离保护和差动保护等。

继电保护的方法很多，但其工作原理基本相同，主要由测量、逻辑和执行三部分组成，见图 1-2-3。



图 1-2-3 继电保护的工作原理框图

(1) 测量部分。测量被保护设备的某物理量，并和保护装置的整定值进行比较，判断被保护设备是否发生故障，保护装置是否应该动作。

(2) 逻辑部分。根据测量部分输出量的大小、性质和出现的顺序，使保护装置按一定的逻辑关系工作，输出信号到执行部分。

(3) 执行部分。根据逻辑部分的输出信号驱动保护装置动作，使断路器跳闸或发出信号。

4. 电力线路的继电保护

用户内部的高压电力线路的电压等级一般为 6~35kV，线路较短，通常为单端供电，常见的故障主要有相间短路、单相接地和过负荷。按 GB50062-1992《电力装置的继电保护和自动装置设计规范》规定应采用电流保护，装设相间短路保护、单相接地保护和过负荷保护装置。

电力线路装设带时限的过电流保护和瞬时电流速断保护装置，保护动作为断路器跳闸，作为相间短路的保护。

电力线路装设绝缘监视装置（零序电压保护）或单相接地保护（零序电流保护）装置，作为单相接地故障保护。经常发生过负荷的电缆线路，装设过负荷保护装置。

5. 变压器的继电保护

变压器的常见故障分为短路故障和不正常运行状态两种。

短路故障有内部故障和外部故障，内部故障有匝间短路、相间短路和单相碰壳等，外部故障有套管及其引出线的相间短路、单相接地等。

不正常运行状态有过负荷、油面降低和温度升高等。按 GB50062-1992 的规定，变压器应装设过电流保护和电流速断保护装置，当发生相间短路时对变压器起保护作用；800kVA 以上油浸式变压器和 400kVA 及以上车间内油浸式变压器应装设气体保护装置，当变压器的内部发生故障和油面降低时对变压器起保护作用；大容量的变压器应装设差动保护装置，

当发生内部故障和引出线相间短路时对变压器起保护作用；装设过负荷保护和温度保护装置，当变压器过负荷和温度升高时对变压器起保护作用。

6. 高压电动机的继电保护

高压电动机常见故障有定子绕组相间短路、单相接地、过负荷、低电压、同步电动机失磁、失步等。

按 GB50062-1992 的规定，对 2000kW 以下的高压电动机相间短路危险，装设电流速断保护装置；对 2000kW 及以上的高压电动机，或电流速断保护灵敏度不满足要求的高压电动机，装设差动保护装置；对易发生过负荷的电动机，装设过负荷保护装置；对不重要的高压电动机或不允许自起动的电动机，装设低电压保护装置；高压电动机单相接地电流大于 5A 时，应装设有选择性的单相接地保护装置。

二、过电压与防雷保护

(一) 过电压

电气设备在正常运行时，其绝缘承受电网工作电压。由于各种原因，在电气设备某些部分可能暂时出现超过正常状态并对其绝缘构成威胁的电压，超过正常工作要求的电压称为过电压。按其产生的原因过电压可分为内部过电压和外部过电压。

1. 内部过电压

内部过电压的能量来自于电力系统本身，一般不超过系统正常运行时额定相电压的 3~5 倍，对电网的电压等级来说，不构成很大威胁。而且由各种原因造成的内部过电压，可采取适当的措施加以限制，所以在实际中并不过多地考虑内部过电压。

2. 外部过电压

外部过电压是由于雷击电气设备或建筑物而产生的，所以也称为雷电过电压或大气过电压。它又分为直击雷过电压和感应雷过电压，前者是流经被击物的很大雷电流造成的，后者是由于电磁场的剧烈改变而产生的。另外，还有一种是由于架空线路或金属管道遭受直接或间接雷击而引起的过电压波，沿线路或管道侵入变配电所或其他建筑物，称为雷电波侵入。

雷电冲击波的电压幅值可高达 1 亿伏，其电流幅值可高达几十万安，可能毁坏电气设备和线路的绝缘，烧断线路，造成大面积长时间停电，对电力系统的危害远远超过内部过电压，因此必须采取有效措施加以防护。对 110kV 及其以下等级的电气绝缘来说，雷电过电压是最危险的，过电压保护主要是研究如何防止雷电过电压对电气设备绝缘的破坏和威胁，以保证电气设备的安全运行和人身安全。

(二) 防雷保护

1. 雷电的危害

(1) 直接雷击。雷电直接对建筑物或其他物体放电，产生具有很大破坏性的热效应和机械效应，称为直接雷。直接雷击产生的过电压可达几百万伏，对电气设备的危害最大。架空线路遭到雷击，不仅本身受到严重损害，雷电还会沿导线传输到发、变、配电所，危及其正常运行，引起电力系统的部分甚至全部瘫痪，严重时还会引起火灾、建筑物倒塌等。

(2) 感应雷。落雷处邻近物体因电磁感应或静电感应产生的高电位所引起的放电叫做感应雷。当架空线路、建筑或构筑物上空有雷雨云时，在架空线路、建筑或构筑物上便会感应出与雷雨云所带电荷极性相反的电荷。雷雨云向其他地方放电后，云与大地之间的电场消失了，于是聚集在建筑或构筑物顶部以及线路上的电荷向地面流散或向线路两端流散，此时建筑或构筑物顶部以及线路相对地面有很高的电位，形成感应过电压。它往往造成屋内电线、金属管道和大型金属设备放电，引起火灾、爆炸，危及人身安全或对供电系统造成损坏。